



MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Lütfen aşağıdaki alıntı biçimini kullanınız:

Lewin, Walter, *8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002* (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare). <http://ocw.mit.edu> (accessed MM DD, YYYY). License: Creative Commons Attribution-Noncommercial-Share Alike.

Not: Alıntılarınızda lütfen bu materyalin gerçek tarihini kullanınız.

Bu materyalin alıntı olarak gösterilmesi veya kullanım koşullarımız hakkında daha fazla bilgi için, <http://ocw.mit.edu/terms> web sitesini ziyaret ediniz.

MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

8.02 Elektrik ve Manyetizma, Bahar 2002

Transkript – Ders 11 Manyetik Alan ve Lorentz Kuvveti

Bu derste şimdiye kadar sadece elektriği tartıştık.

Sakin olun.

Fakat bu ders elektrik ve manyetizma üzerinedir.

Bugün manyetizmadan bahsedeceğim.

M.Ö beşinci yüzyılda, Yunanlılar bazı taşların demir parçalarını çektiğini biliyorlardı.

Bu taşlar Magnesia yani Manisa bölgesinde oldukça boldu; “magnet” yani mıknatıs ve “manyetizma” isimleri buradan gelmektedir.

Bu taşlar demir oksit içerirler; onlara manyetit adını vereceğiz.

Milattan sonra 1100’de, Çinliler pusula yapmak için bu manyetit iğneleri kullanırlardı ve onüçüncü yüzyılda, manyetitlerin maksimum çekme gücüne sahip iki ucunun bulunduğunu keşfettiler; bu uçlara kutuplar diyoruz.

Böylece bir manyetit ya da mıknatıs parçası aldığınızda, o daima iki kutba sahiptir.

Bir kutbu A, diğerini B olarak isimlendirelim.

A ve A birbirlerini iterler, B ve B de birbirlerini iter; ancak A ve B birbirlerini çekerler.

Elektrik ve manyetizma arasında büyük bir fark vardır.

Elektrikte iki kutbunuz var, ancak artı veya eksi kutbu seçmekte özgürsünüz.

Oysa manyetizmada bu seçime sahip değilsiniz.

Manyetik kutuplar daima çiftler halinde bulunurlar.

Yalıtılmış manyetik tek-kutup yoktur – veya bir fizikçinin dediği gibi, bildiğimiz kadarıyla manyetik tek-kutup yoktur.

Biri manyetik tek-kutup bulursa-- insanların aramadığını da düşünmüyorum—bu kesinlikle bir Nobel Ödülüne değer olacaktır.

Prensip olarak onlar mevcut olabilir; ancak bildiğimiz kadarıyla yokturlar ve hiç görülmemişlerdir.

Elektrik tek-kutuplar vardır. Bir artı yükünüz varsa, o bir elektrik tek-kutupdur.

Bir eksi yükünüz, elektrik yükünüz varsa, o bir elektrik tek-kutupdur.

Eşit şiddetli bir artı ve bir eksi yükünüz varsa, bu bir elektrik dipoldür.

Ne zaman bir mıknatısınız varsa, bir manyetik dipolünüz var demektir.

Manyetik tek-kutup diye birşey yoktur.

Onaltıncı yüzyılda, Gilbert dünyanın gerçekte dev bir mıknatıs olduğunu keşfetti ve pusulalarla deneyler yaptı; dünyanın elektromanyetik haritasını, etkin olarak çıkaran ilk kişiydi.

Mıknatıs iğnelerinden birini alırsanız ve bu iğne, kuzey Kanada'nın yönü olan bu yönü gösteriyorsa; uzlaşım gereği, iğnenin bu tarafını artı, --ooh, artı değil—kuzey olarak ve iğnenin bu tarafını güney olarak adlandırabilirsiniz.

A, A'yı ittiği ve B, B'yi ittiği, fakat A ve B birbirlerini çektiği için, kuzey Kanada dünyanın manyetik güney kutbundadır, manyetik kuzey kutbunda değil.

Kuşkusuz, bu bir ayrıntı.

Bu, mıknatıs iğnelerinin yönünü, kuzey ve güneyi tanımlamamızın bir yoludur.

Bir önemli keşif, 1819'da Danimarkalı fizikçi Oersted tarafından yapılmıştı.

Oersted, bir manyetik iğnenin bir teldeki akıma cevap verdiğini keşfetmişti.

Ve bu, manyetizmayı elektriğe bağlıyor.

Bunun, şimdiye kadar yapılan en önemli deney olduğu bile savunulabilir.

Oersted, teldeki akımın bir manyetik alan yarattığı ve telin oluşturduğu bu manyetik alana cevap olarak manyetik iğnenin hareket ettiği sonucuna varmıştı.

Ve bu muhteşem keşif, ondokuzuncu yüzyılda – özellikle Ampere, Faraday ve Henry tarafından-- bir aktivite patlamasına yol açtı ve bunlar, İskoçyalı kuramcı Maxwell'in parlak çalışmalarıyla doruğa ulaştı.

Maxwell, manyetizma ile elektriği birleştiren bir evrensel alan teorisi oluşturdu.

Bu dersin merkezinde yer alır bu teori.. **Maxwell denklemleri**.

Bu dersin sonuna kadar onları, bu dört denklemi, göreceksiniz.

Bir akım telim olsun; tahtaya dik ve akım tahtadan içeri doğru aksın; bunu bir çarpı işaretiyle gösteririm. Akım tahtadan dışarı ise, oraya bir nokta koyarım.

Bunun bir tarihsel nedeni vardır.

18.01 dersinde ve diğer derslerde her zaman vektörlerden bahsettiniz, fakat asla bir vektör görmediniz.

Ve size bir vektör göstereceğim. Bu bir vektördür.
Ve bu size doğrudur.

O zaman bir nokta görürsünüz.

Ve bu sizden uzaklaşır. O zaman bir çarpı görürsünüz.

Akım kara-tahtadan içeri doğru aktığında, çevresine bu iğneleri yerleştirirsem, onlar bu şekilde dizilir.

Ve onu buraya koyduğumda, böyle gidecek.

Onlar bir çemberin teğetlerini izler ve bu manyetik alanı tanımlamamız için bir yoldur. Manyetik alanın yönü, yani bu manyetik alanın —onun için daima B sembolünü kullanırız—şimdi saatin dönüşü yönündedir.

Uzlaşım uyarınca, akım tahtaya doğru gitmektedir.

Ve hiç unutmayın, hep sağ-el vida kuralı dediğimiz şeyi kullanın.

Bir vida alıp saat ibresi yönünde döndürürseniz, vida tahta içine doğru ilerler.

Bu, akım ile B'yi birbirine bağlar.

Bir tirbuşon alıp saat ibresi tersi yönünde döndürürseniz, o zaman tirbuşon size doğru, mantardan dışa doğru ilerleyecektir.

İşte bu, bir vida ya da tribüşon ile, akım telleri etrafında dolanan manyetik alanı nasıl bulacağınızı gösterir.

Bu sadece bir uzlaşımdır.

Bir manyetik iğnenin bir akıma nasıl cevap verdiğini göstermek istiyorum.

Üzerinden, 300 amper kadarlık, müthiş bir akım geçireceğim bir telim var ve bu teli orada görüyorsunuz. Işıkları ayarlayacağım; onun nasıl gitmesini istediğimi orada göreceksiniz; uygun ışığı elde edelim.

Akımı geçirdiğim zaman – burada mıknatısı görüyorsunuz; bugünlerde ona pusula diyoruz-- o pusula yerin manyetik alanı yönündedir.

Telden 300 amperlik akım geçireceğiz ve mıknatıs yönünü değiştirecek, telin çevresinde meydana gelecek bunun gibi bir manyetik alanın yönüne yönelecek.

Bunun gibi olacak.

Uyguladığım akım o kadar yüksek ki birkaç saniye içinde teller kokmaya ve yanmaya başlar.

Batarya, bu kadar yüksek bir akım çektiğim zaman, bundan hoşlanmaz.

Bu yüzden, bunu sadece birkaç saniye için yapabilirim.

Böylece pusula bu yönde sallanacak ve titreşim yapmaya başlayacaktır. Akımı titreşimi durduracak kadar uzun süre uygulayamam.

Bu yüzden elimle durduracağım ve bunun gerçekten denge konumu olduğuna sizi ikna edeceğim.

Bunun için hazırsanız, şimdi bağlantıları yapalım ve izleyelim, üç, iki, bir, sıfır.

Gördüğünüz gibi o dönüyor.

Şimdi onu durduracağım—akım hala akıyor.

Bunun denge konumu olduğunu görüyorsunuz.

Ve akımı durduracağım.

Ve şimdi yönünü ters çevireceğim, şimdi onun zıt yönde sallandığını göreceksiniz.

Farklı yönde 180 derecede.

Üç, iki, bir, sıfır...

Harekete başladı. Onu durduracağım [hoop]; birkaç saniye; bu denge konumudur; sonra bırakacağım.

Böylece gördünüz ki, bu manyetik iğne gerçekten de telin oluşturduğu manyetik alana yanıt verdi. Bu Oersted tarafından yapılan büyük bir keşifti. Bu keşif --bu gösteri-- sizin için olağanüstü olmayabilir; fakat tarihi açıdan muazzam bir öneme sahiptir.

İddia edebilirim ki, belki de, bugüne kadar fizikte yapılmış olan en önemli gösteri, en önemli araştırmadır bu; çünkü elektrik ile manyetizmayı birbirine bağlamıştı.

Bir alan teorisi kavramının yaratılmasına temel oluşturmuştu.

Aslında bu, mıknatısın tepkisiydi; ama aynı zamanda şu demektir: eğer akım taşıyan bir tel mıknatıs üzerinde bir kuvvete sahipse, o zaman elbette mıknatıs da tel üzerine bir kuvvet uygulamalıydı.

Size bunu da göstereceğim, fakat şimdi çok daha güçlü bir mıknatısımız var. Gösterimde bu mıknatısı kullanacağım. Mıknatıs hareket etmeyecek, çünkü hareket ettiremeyecek kadar ağır. Bu yüzden sadece teli hareket ettireceğiz

Bu durumda, temel fikir aşağıdaki gibidir:

İşte mıknatıs bu. Mıknatısın kuzey kutbu bu ve bu da güney kutbu. --Samimi olmak gerekirse, hangisinin hangisi olduğunu hatırlamıyorum-- O zaman, manyetik alan bu şekilde olacak. Akım teli burada; içinden akım geçiyor ve tel kara-tahtaya dik.

Akım geçirdiğimizde, akım tahta düzleminden dışarı doğru ise – ve yüzde elli şansım var, çünkü gerçekten bunun kuzey mi yoksa güney mi olduğunu hatırlayamadım—evet, akımın tahta düzleminden dışarı olduğunu varsayalım. Bu durumda bu telin yukarı doğru bir kuvvetin etkisinde kalacağını göreceksiniz.

Tel üzerindeki kuvvetin daima I vektörel çarpım B yönünde olması, deneysel bir olgudur.

Bunlar birim vektörlerdir.

Ve I tahta düzleminden dışarıya doğru olduğundan, I ile B 'yi vektörel olarak çarparsam, bu yönde bir kuvvet elde ederim.

Ve şimdi akımı ters çevirirsem—akım bu yönde akarsa—o zaman tel aşağı doğru gitmek isteyecektir.

Şimdi her ikisini de göstereceğim size.

Fakat hangisi ilk önce olacak bilmiyorum. Çünkü kutupları işaretlemedim.

Ahh—uhh.

Şimdi onu çizdiğimden biraz farklı olarak göreceksiniz.

Size bu şekilde görünen bir mıknatıs çizdim, fakat elbette onu bu şekilde görmeyen sizin için daha hoş olur.

Böylece teli görüyorsunuz ve mıknatısı; şimdi telden birkaç yüz amperlik akım geçireceğim. Tel ya yukarı sıçrayacak ya da aşağı sapacak; sonra da akımın yönünü değiştireceğim ve o zaman bunların tersi olacak.

Tamam.

Bunun için hazır mıyız?

Üç, iki, bir,... sıfır...

Dikkat ederseniz, aşağıya doğru besbelli bir kuvvet var; öylesine güçlü bir kuvvet ki destekleri bile aşağıya çekti.

Bu yüzden, bu deneyde akımı ters çevirirsem, telin yukarı sıçrayacağını tahmin edebilirim.

İşte başlıyoruz—kesinlikle biliyorum, çünkü onu bu şekilde döndürdüm; şimdi onu bu şekilde döndüreceğim ve tel yukarı sıçrayacak.

Bu gördüğünüz ilk çizimdir.

Üç, iki, biir, sıfır...

Çok açık. Onun çıktığını gördünüz. Tamam.

Bunu aşağıya alayım. Tamam.

Eğer bir telim varsa,-- diyelim ki, üzerinden I_1 akımı geçiriyorum – o bir manyetik alan oluşturacaktır; sağ-el vida kuralı, tam burada, bu manyetik alan tahtadan içeri doğru olacaktır -- ona B_1 diyeceğim -- tam burada, o tahtadan dışarı doğru olacaktır.

Ama bu şu anda önemli değil. Fakat tahtadan dışarı doğrudur.

Burada, o tahtadan içeri doğru.

Ve burada, diğer bir tel var; onun üzerinden ise I_2 akımı geçireceğim.

Şimdi bu tel üzerinde, I vektörel çarpım B yönünde bir kuvvet olacaktır.

Elinizle yapın, I vektörel çarpım B [krk], bu kuvvet yukarı olacaktır.

Böylece bu tel yukarı yönde bir kuvvete maruz kalacaktır.

Ama tabii ki, eğer bu tel yukarı yönde bir kuvvete maruz kalırsa; etki, eksi tepkiye eşit olduğu için, bu tel aşağı yönde bir kuvvete maruz kalacaktır.

Böylece, onlar birbirlerine doğru gideceklerdir. Onlar birbirlerini çekeceklerdir.

Kuvvetin burada aşağı olduğunu bağımsız bir şekilde onaylayabilirsiniz.

Bu, bu kuvvettir.

Benim için, etki eşittir eksi tepki olduğunu söylemek yeterli olacaktır. Newton'un Üçüncü yasası...

Fakat buraya, tabii ki, tahtadan dışarı doğru olan akımın sonucu olan B_2 manyetik alanı koymak isterseniz -- sağ-el kuralını hatırlayın -- o zaman, kuvvetin şimdi burada, I_1 vektörel çarpım B_2 yönünde olması gerektiğini göreceksiniz.

Ve bu aşağıyadır; tam olarak tahmin ettiğim gibi.

Böylece iki tel birbirine doğru gidecektir.

Ancak, her şeyi aynen bırakıp, I_2 nin yönünü ters çevirirsem-- böylece şimdi iki akım ters yönlüdür-- o zaman kuvvetler ters dönecekler ve böylece şimdi teller birbirlerini iteceklerdir.

Ve ben size bunu göstereceğim.

Burada bu iki telim var ve onları, orada, ekranda göreceksiniz.

Gördüklerinizi size ayrıntılı olarak açıklayacağım.

İki tel dikey olarak uzanır -- bu telin biri ve bu da diğeri -- aynı yönde bir akım geçirdiğimde, onlar birbirlerini çekeceklerdir.

Ve birazdan bunu göreceksiniz.

Üç, iki, bir, sıfır.

Gördünüz mü?

Birbirlerine doğru gidiyorlar.

Şimdi onu tekrar yapacağım.

Eğer akımları zıt yönlerde geçirirsem, birbirlerini iteceklerdir.

Şimdi onları zıt yönlerde geçireceğim. Onlar birbirlerini iterler.

Onu tekrar yapacağım, üç, iki, bir, sıfır.

Onlar birbirini itiyorlar.

Size bu gösteriyi yapmamın nedeni farklı.

Kavramanızı istediğim şey şu: Bu alüminyum iletken plakayı -- o bir iletken -- iki telin arasına koyup deneyi tekrar yapsaydım, tamamen aynı şeyler olacaktı.

Bu size, manyetik alanın elektrik alanından gerçekte çok farklı olduğunu söyler. Çünkü elektrik alan bunun gibi iletken bir levha tarafından oldukça fazla etkilenir.

Manyetik alanlarsa etkilenmez.

Böylece tellerin arasına bu plakayı koyacağım ve sonra yine zıt yönlerde akım geçireceğim. Sanki orada levha yokmuş gibi tellerin birbirini ittiğini göreceğiz.

Üç, iki, bir, sıfır. İşte görüyorsunuz..

Bu yüzden, manyetik alanların anlatılacak çok ilginç bir öyküsü var.

Yine de, elektrik ve manyetizma birbirine bağlıdır.

Bir manyetik alanın şiddetini nasıl tanımlarız?

Elektrikte, elektrik alan şiddetini şu şekilde tanımlamıştık—bir elektrik yükü üzerindeki kuvveti ölçmüştük, elektrik kuvvetini... ve sonra elektrik kuvveti, yük çarpı elektrik alanıdır demiştik.

Bu, elektrik alanının şiddetini belirliyor.

Şimdi “Tamam, manyetik alan, bir manyetik yük çarpı B alanı” diyebilseydik, güzel olurdu, değil mi? Böylece B alanının büyüklüğü tanımlanırdı.

Evet, güzel olurdu.

Ama bir manyetik tek-kutup bulamadığımız sürece, bunu söyleyemeyiz.

Eğer yarın manyetik tek-kutupla gelerseniz, bunu yapabilirim.

Fakat manyetik tek-kutuplarımız yoktur ve bu yüzden, tanımı bu şekilde yapamayız.

Öyleyse manyetik alan nasıl tanımlanır?

Şu şekilde tanımlanır.

Bir elektrik yükü alırım; bu elektrik yükü q olsun.

Bu elektrik yükü bir v hızıyla hareket ediyorsa ve elektrik yükünün hareket ettiği yerde bir manyetik alan varsa, kuvvetin daima v 'ye dik olduğu deneysel bir olgudur.

Eğer manyetik indüksiyonu ifade etmek isterseniz, buraya bir B koyarsanız iyi olur.

Demek ki, bir manyetik alan var, yük bu hızla hareket ediyor ve yük üzerinde daima v 'ye dik olan bir kuvvet var.

Bu kuvvetin büyüklüğü parçacığın hızıyla orantılıdır ve yüküyle de orantılıdır.

Eğer yükü iki katına çıkarırsam, kuvvet iki katına çıkar.

Eğer hızı iki katına çıkarırsam, kuvvet iki katına çıkar.

Bu yolla tanımladığımız şey, manyetik alan şiddetidir.

Manyetik kuvvet -- ve hatırlatsın diye ona bir B indisi ekleyelim-- q elektrik yükü kere elektrik yükünün hızı ile B 'nin vektörel çarpımıdır.

Ve siz, kuvvetin daima v 'ye dik olduğunu görürsünüz ve bu, hız ve q yüküyle doğru orantılıdır.

Bu kuvvet, Hollandalı fizikçiye izafeten, çoğunlukla **Lorentz kuvveti** olarak adlandırılır.

Bu eşitlik tamamen işarete duyarlıdır.

Eğer yükü, pozitif bir yükten negatif bir yüke çevirirseniz, o zaman kuvvet 180 derece ters döner.

v 'nin yönünü değiştirirseniz, kuvvet ters döner.

B 'nin yönünü değiştirirseniz, kuvvet gene tersine döner.

Böylece tamamen işarete duyarlı bir denklemdir.

Manyetik alanın büyüklüğünün birimi bu denklemden bulunur: bu Newton'dur, q Coulomb'dur ve v metre bölü saniyedir.

Böylece, bu, manyetik alan şiddetinin birimi olacaktır, ama kimse bunu söylemez.

SI birimlerinde -- bu SI birimi olacaktır -- buna 1 **Tesla** deriz, bunun için 1 büyük T yazarız.

Bir Tesla son derece güçlü bir manyetik alandır.

Bu mıknatısın manyetik alanı yalnızca bir Teslanın 2/10'udur.

Ve bu çok güçlü bir mıknatıstır.

Bu yüzden biz sıkça bir SI birimi olmayan bir birimi, Gauss'u kullanırız; çoğunlukla kitaplarda bunu göreceksiniz ; 1 Gauss 10 üzeri -4 Tesladır.

Dünyanın manyetik alanı yaklaşık yarım gaussdur.

Ve böylece bu mıknatıs yaklaşık 2 kilogauss'tur.

Ama SI birimi Tesladır.

Televizyonun ya da bilgisayarınızın ekranı, floresan bir ekran -- televizyonda bu floresan ekranı çok hızlı tarayan elektron tabancaları vardır -- televizyon ekranında 525 çizgi vardır ve elektron tabancaları bu kadar çizgiyi saniyenin otuzda biri kadar sürede tarar.

Bu elektron demetinin şiddetindeki değişimler görüntüyü oluşturur.

Televizyon tüpüne yandan bakarsanız; giden elektronlar var -- herhangi bir anda onlar bunun gibi hareket ederler, başka bir anda onlar buradaki gibi hareket ederler, çok hızlı bir taramayla -- ve böylece eğer televizyon ekranının yakınına güçlü bir mıknatıs getirirseniz, görüntüyü bozacağınız açıktır. Çünkü şimdi bu elektronların, bu akımların hareketini etkiliyorsunuz.

Ve bunu, sanatı için kullanan Nam June Paik isimli çok ünlü bir artist var; dünyada hemen hemen her büyük müze, Nam June Paik'in mıknatısları ve televizyon ekranlarını kullanarak bozduğu görüntülerle yaptığı bir çalışmasına sahiptir.

Nam June Paik ile yarışmak istemem, ama bunu size göstermek istiyorum.

Orada bir televizyon setim var ve burada güçlü bir mıknatısım. Bu görüntüyü bozmayı ve nasıl olduğunu bildiğimiz en iyi ışıkları vermeyi deneyeceğim.

Önerim, nefret ettiğiniz bir program bulmaya çalışmak.

Böylece işte mıknatısım -- oh, dostum -- bu son derece güçlü bir mıknatıstır ve haydi televizyonu açalım; ilk önce ne alabildiğimizi görelim.

Oh, açmak yerine onu kapattım.

Ah, ben reklamlardan nefret ederim; haydi reklamları alalım.

Şimdi, yakından seyredelim.

İşte mıknatısım geliyor, görüntü var.

Gördünüz mü?

Bir mıknatıs ve hareketli bir yük ile ne yapabildiğimizi gördünüz: hareketli yükün yönünü değiştirebiliyorsunuz.

Hareketli yükün üzerindeki kuvvet.

Bir manyetik alanla beraber bir elektrik alanınız varsa, o zaman tabii ki, elektrik kuvvetiniz de vardır.

Ve böylece yüklü bir hareketli parçacık üzerindeki toplam kuvvet, q çarpı elektrik alan vektörü artı v vektörel çarpım B olur.

Bunu tabii ki önceden görmüştük.

Bir elektrik alan yük üzerinde iş yapabilir.

q delta V 'nin pozitif olabildiğini, negatif olabildiğini hatırlayın; ama o, iş yapar.

O, yükün kinetik enerjisini değiştirebilir.

Manyetik alanlar hareketli bir yük üzerinde asla iş yapamazlar.

Bunun sebebi, kuvvetin daima v hızına dik olmasıdır.

Böylece kuvvet harekete daima dik olursa, hareketin yönünü değiştirebilirsiniz, fakat kinetik enerjisini değiştiremezsiniz.

Böylece bu, elektrik kuvveti ile manyetik kuvvet arasındaki temel bir farktır.

Şimdi bir tel boyunca geçen bir I akımı üzerindeki kuvveti sizinle hesaplamak istiyorum. Bir B manyetik alanımız var.

Yavaş olacağız -- çok daha nicel olacağız.

Aklıma gelmişken söyleyim -- buna Lorentz kuvveti de deriz -- ikisinin bir birleşimidir.

Bu kesinlikle öyledir.

Böylece bir tel ile, üzerinden akım geçirilen bir tel ile başlayalım; işte tel ve akım I 'dir.

Ve diyelim ki, burada bir noktada, bir B manyetik alanımız var.

İlke olarak, manyetik alan tel boyunca farklı olabilir.

Burada, bir yüküm var, artı dq ve bu yük tel boyunca v sürüklenme hızıyla akıyor.

Akım 0 olursa, ne olacağı hakkında düşünelim.

Oda sıcaklığında akım 0 olursa, bu teldeki serbest elektronlar çok büyük hıza sahip olurlar.

Saniyede 3 milyon metre.

Sürüklenme hızından çok daha büyüktür.

Fakat onlar tamamen karmakarışık yönlerdedir.

O rastgele bir hareket, bir ısı hareketidir.

Ve bu yüzden tek tek her bir yük üzerinde bir kuvvet olacaktır.

Fakat onların ortalamaları sıfır olacaktır.

Bir akım geçirdiğimizde, bu yükler çok yavaş bir sürüklenme hızıyla dolaşacak ve artık elbette net kuvvet 0 olmayacaktır.

Böylece bu yönde hareket eden bu dq yükümüz olsun; bu bana bir akım verir.

Ve onların arasındaki bu açı teta olsun.

Bu önemli olacak; çünkü o, hız ve B arasındaki bir vektörel çarpım.

Bu, tetanın sinüsünün işe karışacağı anlamına gelir.

Diyeceksiniz ki, -- diyeceğinizi umuyorum.-- "Pekala, dinle dostum, bu çok komik,

O pozitif yük tel boyunca hareket etmez.

Tel boyunca hareket edenler elektronlardır. Akımdan onlar sorumludur.

Elektronlar negatif yüke sahiptir ve bu yönde giderler."

Haklısınız. Mükemmel.

Bununla beraber, bu yönde giden negatif bir yük, bu yönde giden pozitif yükle matematiksel olarak tamamen aynıdır.

Her iki durumda da, akımın bu yönde olduğuna hem fikir miyiz?

Böylece matematiksel sonuçlar için, bu yönde sürüklenme hızıyla giden eksi bir dq yükünü almak yerine, bu yönde giden artı bir dq yükünü almayı tercih ettim.

Fakat sonuçta hiçbir fark yoktur.

Böylece bu yük üzerinde, bir dF kuvveti vardır – bu manyetik kuvvet, bu dq yükü çarpı v vektörel çarpım B 'dir.

Şey, bu v sürüklenme hızıydı ve işte bu da, bu noktadaki manyetik alandır.

Tel boyunca akım, tel üzerinde her yerde, dq bölü dt olmalıdır.

Çünkü akımın tanımı, saniyede geçen coulomb miktarıdır.

Akım her zaman dq bölü dt 'dir.

Böylece bunu, Idt çarpı V_d vektörel çarpım B olarak da yazabilirim.

Ama Mekanik'i hatırlayın; V_d çarpı dt , yani hızın zamanla çarpımı bir mesafedir.

Ve ben buna $d\ell$ uzunluğu derim.

O, tel boyunca bir uzunluk.

Şimdi buraya bir mesafe koyacağım; çünkü çizimimi karıştırmak istemiyorum.

Böylece, bu yük, dt zamanı içerisinde, bu mesafeyi kateder; bu bir vektördür.

Mekanik. Böylece bu çarpım için $d\ell$ yazabilirim.

Ayrıca, dF_B eşittir I çarpı $d\ell$ vektörel çarpım B de yazabilirim.

Bu size ne anlatıyor?

Bu, $d\ell$ uzunluğuna sahip küçük bir tel parçası üzerindeki kuvvettir; I telden geçen akımdır ve B , bu $d\ell$ bölgesindeki lokal manyetik alandır; anlamları bu.

Tel üzerindeki tüm kuvveti bilmek istiyorsanız, tüm tel boyunca integral almak zorundasınız

Evet, tüm tel boyunca integral almalısınız; her $d\ell$ parçasında, B 'nin ne olduğunu tanımlamak zorundasınız; böylece bir kuvvet elde edersiniz, ki o kuvvet bir vektördür ve bu vektörleri vektörel olarak toplamalısınız.

Bu can sıkıcı olabilir, ama temel fikir budur.

Böylece, şimdi, telden kabaca 300 amper geçirdiğimde, tel üzerindeki kuvvetin ne olduğunu hesaplamak istiyorum.

Öyle basit bir geometri kurayım ki, bu integrali yapabileyim.

Bu teldi ve burası boyunca geçen 300 amperlik bir akımımız vardı.

Tam burada, boşlukta, bir manyetik alanımız vardı, B manyetik alanı, bu alan 1 Teslanın 0,2'siydi.

Yani, 2 kilogauss.

Ve bu manyetik alan sadece burada bulunuyordu. Orada çalışmıyordu, yoktu.

Ve bu manyetik alanın telin bir parçası üzerinde, diyelim ki, sadece 10 cm'lik kısmı üzerinde, sabit olduğu varsayımını yaparım-- ki o basitleştirilmiş bir varsayımdır.

Burada 0.1 metrelik bir uzunluğumun olduğunu farz ettim; bu aralıkta, manyetik alan sabit.

Ben sadece o teldeki kuvvet için kabaca bir sayı elde etmek istiyorum.

Böylece şimdi denklemin integralini kolayca alabilirim. Çünkü manyetik alanın $d\ell$ yönüne dik olduğunu varsaymışım -- $d\ell$ şimdi bu yöndedir. Böylece, sinüs teta 1'dir. Bunun için endişelenmeme gerek yok -- ve böylece bu kısım üzerindeki F kuvveti -- bu ℓ kısmı üzerindeki kuvvet -- isterseniz ona F_B dersiniz --oradaki I akımımız, bu uzunluk olan ℓ uzunluğumuz çarpı manyetik alan olarak elde edilir.

Hiçbir yerde sinüs yok; çünkü açı 90 derecedir.

Ve böylece kuvvetin $300 \times 0.1 \times 0.2$ olduğunu bulurum, kuvvet 30×0.2 , yani yaklaşık 6 newtondur.

6 newton 1 pound ağırlıktan daha fazladır.

Bu pek o kadar da şaşırtıcı değildir. Akımı açtığımda, aniden, belli bir ağırlıkla bir şey teli aşağıya çeker; bir pounddan biraz daha fazla bir ağırlık, neredeyse bir buçuk pound kadar.

Ve bu yüzden, bu desteklerin devrilmesi çok şaşırtıcı değildi.

Görüyorsunuz ki, manyetik alanın düzgün olması hakkında ve manyetik alanın nerede olduğu hakkında bazı basit varsayımlar yapmanız şartıyla, bunu nicel olarak değiştirebilirsiniz.

Şimdi 8.02 dersinin “büyük motor yarışı” hakkında konuşmak istiyorum.

Büyük 8.02 motor yarışına başlamak üzereyiz. Bu gün bir zarf aldınız ve ben size, yavaş yavaş, bunun fiziğini anlatmaya başlayacağım.

Hedefimiz, sonuçta bir motor yapmaktır.

Bir akım halkam olsun -- bu bir akım halkası.

Akım A'dan girer; onu size 3-boyutlu göstermeyi deneyeceğim -- ki bu hiç kolay değil.

Akım, buradan D'den çıkar.

Bu bir akım halkası.

Akım buradan geçer, buradan geçer, buradan geçer ve tekrar buraya döneriz.

Ve bizim bir manyetik alanımız var; manyetik alanın bu yönde sabit olduğunu varsayacağız.

Telde tam burada bir kuvvet vardır; I vektörel çarpım B yönünde. Bu kuvvet yukarı yöndedir.

Telde burada da bir kuvvet vardır; elbette aşağıya doğrudur.

Manyetik alan aynı yöndedir, akım zıt yöndedir, böylece kuvvet aşağıyadır.

Bu telin uzunluğu a olsun. Bu kuvvet -- kuvvetin büyüklüğü -- , telden geçen akım çarpı telin uzunluğu çarpı B manyetik alanıdır.

Biz bunu biraz önce türetmiştik.

Bu, şu integraldir; burada her yerde manyetik alanın sabit olduğunu varsaymıştık, bunlar 90 derecelik açılar; böylece $\sin \theta = 1$ 'dir ve böylece bu kuvvettir.

Kuvvet burada nedir ve burada nedir?

Burada sıfırdır ve burada da sıfırdır.

Neden pekiyi?

Çünkü vektörel çarpım sıfırdır.

Ona nasıl bakarsanız bakın önemi yoktur; $d\mathbf{l}$ ve B 'nin her ikisinin de ya aynı yönde ya da zıt yönde olduğunu söyleyebilirsiniz.

Ayrıca sürüklenme hızı ile B'nin her ikisinin de ya aynı yönde ya da zıt yönde olduğunu söyleyebilirsiniz; onlar aynı şeydir.

Burada kuvvet yoktur ve burada da kuvvet yoktur.

Çünkü sahip olduğumuz bu denklem bize manyetik kuvvetin 0 olduğunu verir.

Bu açının sinüsü 0'dır.

Peki, bütün bunlarla ne olacak?

Ne mi?.. Bu sistem üzerinde bir kuvvet çifti, bir tork, var demektir.

Net kuvvet yoktur; çünkü bu yukarı kuvvet, bu aşağı doğru olan kuvvetle aynıdır. Ama bu kuvvet çifti, onu saatin tersi yönünde döndürmek ister.

Tabii ki, bu torkun büyüklüğü, -- 8.01 Mekanik dersinden hatırlarsanız -- bu kuvvet ile bu iki kuvvet arasındaki dik uzaklığın çarpımıdır; dolayısıyla bu torkun herhangi bir andaki büyüklüğü, kuvvetler birbirinden bu kadar uzaktayken, I çarpı a çarpı B 'dir.

Şimdi bu dönecektir ve onlar dönerken, bu kuvvetler daha yakına gelir ve tork azalır.

Ama, sistem hâlâ saatin aksi yönünde dönmek ister.

Ve bir zaman gelir ki, 90 derece sonra, tork 0 olur.

Ve size gene üç- boyutlu olarak göstermeyi deneyeceğim, benim için çok kolay değil bu.

Şimdi, bu D'dir; bu D haline gelmişti, akım daima D'de ayrılır.

Size bunu üç-boyutu göstermeye çalışacağım.

O böyle gider; akım buradan, A'dan girer; böylece bunu alırız ve bunu alırız.

Çok kötü görünmüyor.

B manyetik alanı değişmedi; düzgün B aynı yönde.

Böylece akım şimdi A içinden girer; o değişmedi; değişen tek şey, halkanın 90 derece dönmüş olmasıdır.

Şimdi size kuvvetin ne olduğunu sorarsam; I vektörel çarpım B 'ye gitmelisiniz.

I vektörel çarpım B .

Burada I vektörel çarpım B yaparsanız, size doğru bir kuvvet elde edersiniz.

Burada, tahtaya içinde olan kuvvetler elde edersiniz.

Burada yukarı doğru bir kuvvet ve burada aşağı doğru bir kuvvet elde edersiniz.

Evde, sağ elinizi kullanmak için biraz zamanınız olacak; I vektörel çarpım B 'yi oluşturacaksınız ve o zaman gerçekten de, bütün bu kuvvetlerin onları koyduğum yönde olduğunu göreceksiniz.

Şimdi, gene, sistemde net kuvvet yoktur.

Burada da net kuvvet yoktu. Ama şimdi, tork da yok. Böylece şimdi tork sıfır oldu.

Onu biraz daha döndürürsek, o zaman bu moturu çalıştırmanız mümkündür.

Onu saatin aksi yönünde döndürmeye başlarız, bu pozisyona gelir, tork 0'a gider, fakat o yeterli eylemsizliğe sahiptir, böylece o biraz daha ileriye döner.

Ve şimdi, tork tersine dönecektir.

Burada sizi bununla başbaşa bırakacağım; başka bir çizim yapmak ve onun tersine döneceğine sizi ikna etmek istemiyorum.

Ama onu görmek çok kolaydır, çünkü bunu alın ve sadece 180 derece çevirin.

Manyetik alan değişmedi, ama bu iki kenardaki akım şimdi yön değiştirdi ne olursa olsun, D buradadır ve A buradadır.

Ve böylece tork ters döner ve böylece bunun gibi gider [vişşşt] ve sonra [vişşşt] geri gelir.

Motorun büyük bir kısmı bu değil, tabii ki.

Akım-ölçerler çok sık kullanılır; onlar arabalarınızda vardır, düşündüğünüzden daha çok; senin yakıt göstergen, ne bileyim ben, sıcaklık göstergen, suyu soğutman hep akım-ölçerdir.

Akım-ölçer aşağıdaki gibi çalışır:

Bu halkaya bir iğne ekleriz, bir kulp ve onu burada ayarlarız.

Ve bu sayaçtan kaç amper geçtiğini okuyabilirsiniz.

O saatin aksi yönünde gitmek ister.

Buraya, bir yay bağlarız ve yay zıt bir tork üretir; böylece iğne sapmaya başlayacaktır, ama sonra duracaktır.

Ama akımı iki katına çıkarırsanız, daha ileri gidecektir.

Bu, bir sayacın çalışma yöntemidir.

Arabanızdaki yakıt göstergesi, yakıt seviyesinin bir şekilde elektrik sinyaline dönüştürülmesi dışında, bir akım-ölçerdir; sonra bu sinyal akım-ölçere gönderilir ve siz onu okursunuz.

Ve şüphesiz ki, o, sizin ne kadar yakıtınız olduğuna göre ayarlanmıştır.

Sıcaklık göstergeniz, derece cinsinden, Fahrenheit ya da herhangi birine göre ayarlanır.

Bu sayaçlar çok yaygındır; akımla ilgisi olmayan bir şeyle uğraştığınızda bile.

Şimdi, çalışan bir motor nasıl yapılır?

Bu torkun ters dönmesinin üstesinden nasıl gelirsiniz?

Sadece torkun ters dönmesi sorun değildir; ama eğer siz dönmeyi sürdürebilirsanız, bu iki telin birbirlerine dolanması ve kopmaları problemi de vardır.

Onu 100 kez döndürürseniz, A ve D'ye ne olduğunu görebilirsiniz; o kırılacaktır.

Böylece kayan bağlantılarınızın -- onlara fırça deriz -- olduğu bir tasarımı düşünmek zorundasınız.

Burada A'ya bağlı, fiziksel olarak A'daki tele lehimlenmiş bir iletkenim olduğunu varsayalım.

Ve burada da, D olan bir iletkenim var.

Böylece halka sizin olduğunuz yerdedir. Halkadan çıkan lehimlenmiş tel buradadır.

Ama şimdi batarya -- bataryanın artı tarafı burasıdır, bataryanın eksi tarafı burası ve bu bir kayan bağlantıdır.

Pratikte onlara fırça deriz.

Böylece bu derhal tellerin birbirine dolaşma sorununu halleder.

Ama bu tasarımda çok zekice olan başka bir şey daha var.

A ve D arasındaki boşluk bir yalıtkanca, o zaman bu 180 derece döndüğünde ne olacak?

Şimdi bataryanın pozitif tarafında olan A dır -- tabii ki, bu negatiftir.

A şimdi bataryanın pozitif tarafındadır. 180 derece döndürürseniz, A bataryanın negatif tarafında olacaktır.

Böylece şimdi her dönmede, akım, tamamen kendi kendine yön değişecektir.

Ve biz buna bir çevirici yani komütatör deriz.

Ve şimdi, ne olacak, tork ters dönmeyecek.

Doğru zamanda akım yön değişirse, tork daima halkayı tamamen aynı yönde döndürmek isteyecektir.

Çevirici yani komütatör düzeneğin arkasındaki fikir budur.

Büyük 8.02 motor yarışı.

Bir zarfınız var, onu açtığınızda -- şimdi yapmayın -- orada bir bakır tel bulacaksınız, 2 metre yalıtılmış bakır tel, iki mıknatıs, 2 ataç ve bir parça tahta.

Ve fikir şudur: Mümkün olduğunca hızlı çalışan bir motor yapmaya çalışacaksınız.

Her 100 devir bölü dakika (DBD) için -- bir DBD bir dakikadaki dönmedir -- her 100 DBD için, maksimumu 20 kredi notu olan, size bir kredi notu vereceğim.

Motoru 2000 DBD veya daha yüksek DBD ile çalışan, 20 kredi puanı alır.

Bu, iki ev ödevine eş-değerdir.

Ve bu kredi puanları ders notundan ayrı sayılır. Buna söz veriyorum.

Temel kurallarda gördüğünüz şekilde, ilk bildirimde size bir final ders notu vereceğim ve ona hak ettiğiniz motor yarışı puanı eklenecek.

Her 100 DBD için, artı bir puan alırsınız, maksimumu 20'dir.

Ve Nisanın ikisinde bu motorları test edeceğiz; size bir bildiri verdim, orada bazı ipuçları, bazı fikirler var.

Size verdiğim bir fikir var ki siz onu ihmal edebilirsiniz. Bu, torkun ters dönmesinin üstesinden gelmektir; bu amaçla bir çevirici yapabilirsiniz.

Ama bu, aslında pek kolay değildir.

Kolay olmaması bir yana,, aynı zamanda bir çevirici yaptığınızda, sisteminiz birçok sürtünmeye maruz kalabilir ve kazancınızdan fazlasını kaybedebilirsiniz.

Bugün aldığınız bildirimde değindiğim başka bir çözüm var. Motorunuzu öyle tasarlayın ki, tork ters döndüğü zaman, artık akan akım olmasın.

Ve yarım dönüşün biraz ilerisine geçtiğinde, tork yine vardır, akım yine vardır.

Böylece zamanın yarısı için, akımı durdurursunuz, -- onun kolay olduğunu göreceksiniz --, onu nasıl yapacağınıza dair bazı ipuçları verdim.

Bir çevirici yapma olanağı yerine, bunu değerlendirmelisiniz.

Alt sınır maksimum 20 kredi puandır. O iki ev ödevine eş-değerdir.

Onu ders notunuzun üzerine, ek olarak alacaksınız.

Bu müthiş bir şey, eğlence, bana inanın. Daha ne istiyorsunuz?

Fizik yapacaksınız, not alacaksınız ve eğleneceksiniz.

Bu benim hergün yaptığım şeydir; fizik böylesine muhteşemdir.

Kalan 5 dakikamız var; bu 5 dakika içerisinde, size bir motor göstereceğim.

Orada gördüğünüz, bir akım halkasıdır – size onu üç-boyutlu olarak göstermeye çalışacağım -- bu akım halkası; üzerinden bu yönde bir akım geçireceğiz; burada da bir mıknatısımız var; güney, kuzey; manyetik alan bu yönde.

Ve burada bir mıknatısımız var; kuzey, güney; manyetik alan da bu yönde.

Buradan bir akım geçireceğim ve eğer akım tahtadan içeri doğru ise, \mathbf{I} vektörel çarpım $\mathbf{B} - \mathbf{I}$ içeride doğru; çarpı \mathbf{B} ; kuvvet yukarı yönde olur.

Bu taraf yukarı gitmek ister.

Eğer bu taraf yukarı gitmek isterse; manyetik alan burada aynı yönde , ama akım zıt yönde, 180 derece, olduğundan, bu kuvvet aşağı yönde olacaktır.

Dolayısıyla motor üzerinde bir tork vardır.

Ve onu göreceksiniz. Bunun gibi gittiğini göreceksiniz.

Bununla beraber, 180 derece gittiğinde, torkun ters dönmesinden dolayı burada sallanıp geri gelmek ister.

Bu size göstermek istediğim ilk şey.

Ve sanırım ışıpta herhangi bir değişikliğe ihtiyaç yok.

Burada bu halkamız var ve burada iki mıknatısımız -- manyetik alan hiçbir şekilde değişmez, sırası gelmişken, alan burada çok güçlüdür ve orada da çok güçlüdür.

Ve şimdi ona güç vereyim.

İşte başlıyoruz.

Yapamam -- evet, sanırım bunun bu tarafa geleceğini biliyorum; yönlerimin doğru olduğuna epeyce eminim.

Önce ona bir göz atalım.

İşte başlıyor.

Böylece o burada olduğunda, dikkat edin, o yukarı gider.

Ama şimdi, ona tekrar güç verirsem, geri gitmek ister.

Burada, yukarı gitmek ister ve burada, geri gitmek ister.

Bir şey yapmak zorundayız. Yapacağım şey, bir çeviricidir.

Eğer biz bir şekilde burada olduğunda akımı çevirebilirsek, o aşağı gitmek ister.

Onu size göstereceğim. Şimdi o burada.

Akımı diğer yönde vereceğim.

Buna hazır mısınız?

Dikkat ettiniz mi?

Şimdi aşağı gitmek istiyor. Şimdi aşağı gitmek istiyor.

Ama o, burada olduğunda, akımı ters döndürmek zorundayım, o yukarı çıkmak ister.

Eğer onu ellerimle yaparsam, bu dönmeyi sürdürüp sürdüremeyeceğimi görebilirim.

Beni biraz geciktirebilir. Ama yapabileceğimin en iyisini yapacağım

İşte oluyor.

Değiştir, değiştir, değiştir, değiştir, değiştir, değiştir, değiştir, değiştir, değiştir.

Evet, onu yaptım, evet onu yaptım.

Ben bir çeviriciyim! Bu motor en az 60 DBD ile gidiyor. Bu benim için bu derste bir puandır.

Teşekkür ederim.